Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 417-434

Agroecological Analysis of Sugar Beet Ecosystem (*Beta vulgaris* L.) in Torbat-e Heydarieh

F. Moallem Banhangi[1], P. Rezvani Moghaddam[2*], S. Khorramdel[3], M. Nassiri Mahallati[4]

Received: 01-02-2022 Revised: 12-04-2022 Accepted: 16-04-2022	**How to cite this article:** Moallem Banhangi, F., Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., & Nassiri Mahallati, M. (2023). Agroecological Analysis of Sugar Beet Ecosystem (*Beta vulgaris* L.) in Torbat-e Heydarieh. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *20*(4), 417-434. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75055.1147

Introduction

During the 1950s and 1960s, the green revolution led to a dramatic increase in global food and fodder production to eliminate hunger and boost food security. This production enhancement was accompanied by an intensified agricultural and chemical input consumption and increased cultivated area and mechanization. Although yield per unit area has improved in most crops, concerns about food security for the world's rising population are still significant. Guaranteeing food security in the future will necessitate a shift in management approaches to boost output, agroecosystem sustainability, and stability and reduce the environmental harm caused by agriculture. The first step to achieving sustainability and ecological intensification in agricultural systems is to have a comprehensive agroecological analysis of agricultural systems in each region. Hence, the complete evaluation and analysis of agroecological features according to their type in each region is necessary for establishing an optimal management technique. After analyzing the present state of each region's shared ecosystems, the optimal strategy for boosting production stability must be devised and implemented.

Materials and Methods

The goal of this study was to undertake a detailed investigation of the agroecological state of the sugar beet ecosystems on a local scale. For this purpose, data were collected on the area under cultivation, yield, and input consumption (including nitrogen and phosphorus fertilizers and chemical pesticides) from 2001 to 2016. Data was acquired from the Ministry of Agriculture and other related organizations and direct interviews with the farmers. In addition, data on climatic parameters (including daily minimum and maximum temperatures, precipitation, and sunny hours) were collected from the Torbat-e Heydariyeh meteorological station. This study researched the most important agroecological indicators of sugar beet farming systems in the Torbat-e Heydarieh region. Study indicators include variations in sugar beet cultivation area and yield, Potential yield via the methods FAO and FAO modified, beet yield gap, Regional Yield Factor trend, Changes in the intensification, yield stability, nitrogen uptake, and nitrogen utilization, and nitrogen use efficiency.

Results and Discussion

According to this study results, sugar beet production increased by 59 percent between 2001 and 2016. During the research years, sugar beet ecosystems saw a drop in the cultivation area. Potential yield calculations using both FAO and modified FAO methodologies revealed that potential yield was nearly consistent over the research period in the region.

1- PhD Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75055.1147

The sugar beet yield gap averaged 35 ton.ha^{-1} over the research period. According to the findings, the percentage of sugar beet yield gap ranged from 53 to 69 %, with an average of 63 %. The extent of the yield gap decreased over the research period. The study of the regional yield factor (RYF) revealed that improving the management system resulted in higher actual yield and thus a smaller yield gap in sugar beet ecosystems. In sugar beet cultivation systems, the results revealed that by increasing intensification, the stability decreased. In sugar beet cultivation systems, there was a reduction in yield stability. Given that nitrogen consumption efficiency is one of the most important factors influencing the degree of stability in agricultural systems, the findings revealed that the rate of nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUtE), and nitrogen use efficiency (NUE) all decreased during the studied years in the region.

Conclusion

According to the findings, the major cause of the increase in nitrogen consumption, growing intensification, and decreasing stability in the analyzed systems appears to be a deficiency of nitrogen use efficiency and its downward trend. As a result, planning and altering management methods focusing on enhancing Nitrogen use efficiency may be proposed as the first step toward boosting sustainability in the Torbat-e Heydarieh sugar beet agroecosystems.

Keywords: Data analysis, Intake efficiency, Regional yield factor, Stability

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٤٣٤-٤١٧

تجزیه و تحلیل اگرواکولوژیک بوم‌نظام‌های زراعی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه تربت حیدریه

فاطمه معلم بنهنگی[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲*]، سرور خرم دل[۳]، مهدی نصیری محلاتی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

چکیده

این مطالعه با هدف دستیابی به یک تحلیل اگرواکولوژیک از بوم‌نظام‌های چغندرقند در مقیاس محلی طراحی و اجرا شد. بدین منظور مجموعه‌ای از مهم‌ترین شاخص‌های اگرواکولوژیک بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه، در بازه زمانی سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که عملکرد چغندرقند در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، ۵۹ درصد افزایش پیدا کرده است. درحالی که سطح زیرکشت چغندرقند روندی کاهشی داشت. محاسبه‌ی عملکرد پتانسیل با دو روش فائو و فائو تغییریافته نشان داد که میزان عملکرد پتانسیل در طول دوره‌ی مطالعه در منطقه تقریبا ثابت بود. میزان خلا عملکرد در بوم‌نظام مورد مطالعه درحالی کاهش یافته که بررسی ضریب عملکرد منطقه‌ای نشان داد که ارتقای سیستم مدیریتی منجر به بهبود عملکرد واقعی و درنتیجه کاهش خلا عملکرد گردیده است. در طی سال‌های مورد مطالعه، میزان فشرده‌سازی افزایش و ثبات عملکرد کاهش یافته‌است. کاهش ثبات عملکرد نشان‌دهنده‌ی عدم وجود پایداری در بوم‌نظام مورد مطالعه بود. با توجه به اهمیت کارایی مصرف نیتروژن بر پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی، نتایج نشان داد که میزان کارایی جذب، کارایی استفاده و کارایی مصرف نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه در منطقه کاهش یافته‌است. بر این اساس به نظر می‌رسد، پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن و روند کاهشی آن عامل اصلی افزایش مصرف نیتروژن، افزایش فشرده‌سازی و کاهش ثبات در بوم‌نظام مورد مطالعه می‌باشد. از این‌رو برنامه‌ریزی و تغییر شیوه‌ی مدیریتی با تمرکز بر افزایش کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند به‌عنوان اولین گام در جهت حرکت به سمت افزایش پایداری در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز داده، ثبات، ضریب عملکرد منطقه‌ای، کارایی جذب

مقدمه

در سال ۱۹۵۰ میلادی (۱۳۲۹ شمسی) جمعیت ایران ۱۷/۱۱ میلیون نفر بود. در طی هفتاد سال جمعیت ایران به ۸۴ میلیون نفر افزایش یافت. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که جمعیت ایران در سال ۲۰۵۰ میلادی (۱۴۲۹ شمسی) به ۱۰۳ میلیون نفر افزایش خواهد یافت (United Nations, 2019). در این شرایط تامین پایدار امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر شمرده می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که برای دستیابی به امنیت غذایی جهانی، تولید غذا بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۵۰ باید حدود ۷۰ درصد افزایش یابد (Kopittke *et al.*, 2019). در این راستا بروز انقلاب سبز با هدف کاهش گرسنگی و تقویت تولید مواد غذایی، منجر به افزایش چشمگیر تولید غذا و علوفه در سراسر جهان شد. به طوری‌که در مقیاس جهانی سطح گرسنگی از ۳۹٪ در سال ۱۹۶۵ به ۱۷٪ در سال ۲۰۱۰ کاهش یافت (Hazell, 2010). این افزایش تولید در سیستم‌های کشاورزی همزمان با افزایش کاربرد ماشین‌آلات

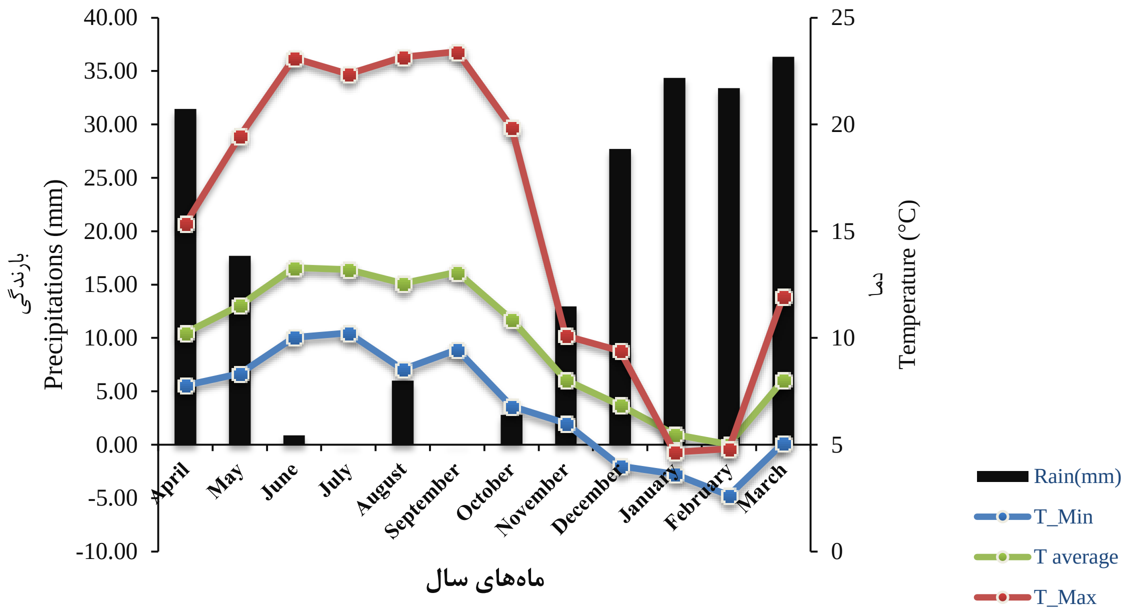
۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75055.1147

کشاورزی و مصرف روزافزون نهادههای شیمیایی انجام گرفت (Pellegrini & Fernández, 2018). به‌طوری‌که در خلال دهه‌های اخیر، فشرده‌سازی با مدیریت فشرده و افزایش مصرف مواد شیمیایی، در اکثر بوم‌نظام‌های زراعی مهم‌ترین نقش را در شکل‌گیری ساختار کشاورزی و افزایش تولید در نقاط مختلف جهان ایفا کرد (Beckmann *et al*., 2019). فشرده‌سازی کشاورزی عبارت است از افزایش تولیدات کشاورزی به نسبت نهاده‌های ورودی (نیروی کار، زمین، کود، بذر و سرمایه) (Palmer, 2008). مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهد که افزایش فشرده‌سازی در بوم‌نظام‌های زراعی در کنار افزایش تولید، تبعات مختلفی به همراه داشته است. از جمله تبعات فشرده‌سازی، آسیب به محیط‌زیست (Clay *et al*., 2020) کاهش پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی (Pittelkow *et al*., 2016) و به مخاطره انداختن امنیت غذایی بوده‌است (Kopittke *et al*., 2019). به این ترتیب با وجود این‌که در اکثر محصولات زراعی عملکرد در واحد سطح افزایش یافته‌است، اما نگرانی برای تامین امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش کره زمین همچنان پابرجاست (Funk *et al*., 2009). در این شرایط تامین امنیت غذایی در آینده مستلزم تغییر شیوه‌های مدیریتی به سمتی است که در حین افزایش تولید، پایداری و ثبات بوم‌نظام‌های کشاورزی افزایش یافته و تلفات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی به حداقل برسد (Berry *et al*., 2015). برای تحقق این پایداری در بوم‌نظام‌های کشاورزی در اولین گام نیاز است که تحلیل جامع اگرواکولوژیک از سیستم‌های کشاورزی در هر منطقه انجام شود تا مشخص گردد که با شیوه‌ی مدیریتی فعلی موجود در هر منطقه، بوم‌نظام‌های کشاورزی آن منطقه از چه خصوصیات اکولوژیک برخوردار هستند و با این شیوه مدیریتی از نظر پایداری چه آینده‌ای در انتظار آن‌ها است، تا در صورت لزوم با حفظ یا تغییر برخی از روش‌های مدیریتی بتوان بهترین برنامه را برای افزایش تولید، در حین حرکت به سمت افزایش پایداری، در هر محصول برای هر منطقه طراحی و اجرا کرد (Brzozowski & Mazourek, 2018). از طرفی دیگر، با توجه به وجود تنوع مکانی عملکرد در مقیاس بزرگ، تجزیه و تحلیل خصوصیات اکولوژیک و ارائه‌ی روش‌های مدیریتی در مقیاس بزرگ چندان مفید نمی‌باشند و بنابراین مطالعات دقیق‌تر در مقیاس‌های کوچک محلی نیز ضرورت دارد (Neumann *et al*., 2010). چغندرقند با نام علمی *Beta vulgaris* L. یکی از محصولات زراعی مهم کشور است که در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی ایران کشت می‌شود (Dihim Fard & Nazari, 2015). ایران با حدود ۱۰۸ هزار هکتار سطح زیرکشت و عملکرد ۵۱/۷ تن در هکتار (Ministry of Agriculture-Jahad, 2020) یازدهمین کشور تولیدکننده چغندرقند در جهان و سومین کشور در خاورمیانه است (FAO, 2018). چغندرقند مهم‌ترین منبع تولید شکر در ایران است به‌طوری‌که با ۲۲/۵ درصد از سطح برداشت محصولات صنعتی، رتبه اول این گروه را به خود اختصاص داده است (Dihim Fard & Nazari, 2015). علاوه بر تولید شکر، کشت چغندرقند از نظر میزان اشتغال‌زایی در کشور نیز دارای اهمیت بالایی است. نیکویی و همکاران (Nikoei *et al*., 2007) در مطالعه‌ای با بررسی میزان اشتغال‌زایی چغندرقند در ایران گزارش دادند که برای تولید هر تن چغندرقند از مرحله تولید تا برداشت به‌طور متوسط ۷/۱۵ نفر-روز نیروی کار مشغول به کار بودند که بر این اساس سالانه ۲۵۳۲۰۷ نفر در صنعت چغندرقند کشور اشتغال کامل داشتند. در بین مناطق متعدد کشت چغندرقند در ایران، استان خراسان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور با ۱۶۳۵۴ هکتار سطح زیر کشت بعد از آذربایجان غربی بیشترین سطح زیر کشت این محصول را در کشور به خود اختصاص داده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2020).

با عنایت به مطالب فوق هدف از این پژوهش، به‌کارگیری رهیافتی سیستمیک در تجزیه و تحلیل بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه، شمال شرق ایران است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل اکولوژیک بوم‌نظام زراعی چغندرقند در منطقه تربت حیدریه، آمار مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد و میزان مصرف نهاده‌ها (شامل آب، کودهای نیتروژن و فسفر) در زراعت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها از داده‌های آماری آمارنامه‌ها و بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی (Ministry of Agriculture-Jahad, 2001-2016)، مرکز آمار ایران (www.amar.org.ir) و مراجعه حضوری به موسسات مرتبط با کشاورزی از قبیل مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مدیریت جهاد کشاورزی مشهد، مدیریت جهاد کشاورزی تربت‌حیدریه و همچنین مصاحبه با کشاورزان منطقه استفاده شد. همچنین داده‌های آب و هوایی منطقه (شامل دمای کمینه و بیشینه روزانه، بارندگی و تعداد ساعات آفتابی) در بازه زمانی مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی تربت حیدریه تهیه شد.



شکل ۱- میانگین ۱۵ ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵) دما و بارش ماهانه در تربت حیدریه

Figure 1- 15-year (2001-2016) average monthly temperature and precipitations in Torbat-e Heydarieh

براساس اطلاعات به‌دست آمده برای دستیابی به رهیافتی سیستمیک در تجزیه و تحلیل بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت‌حیدریه موارد ذیل مورد بررسی قرار گرفت.

آنالیز روند

یکی از اجزای مهم در تجزیه و تحلیل بوم نظام‌ها بررسی وضعیت فعلی و روند تغییرات تولیدات کشاورزی می‌باشد. به این منظور روند تغییرات عملکرد و سطح زیرکشت چغندرقند در منطقه تربت‌حیدریه در بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی روند از طریق برازش رگرسیون خطی به تغییرات هر متغیر (y) در طی زمان (x) انجام شد. شیب خط رگرسیون تعیین‌کننده‌ی نرخ تغییر در واحد زمان می‌باشد.

برآورد عملکرد پتانسیل به روش فائو

عدم دسترسی به داده‌های کامل و صحیح از مهم‌ترین مشکلات محققین کشور برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در برآورد عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد می‌باشد. در چنین شرایطی به‌کارگیری مدل‌های ساده‌شده که در آن‌ها الگوریتم محاسباتی مدل‌های رشد در قالب دو یا چند معادله ساده ارائه می‌شود راهکاری جایگزین محسوب می‌شود. در این روش که توسط فائو برای استفاده در پهنه‌بندی‌های اگرواکولوژیک محصولات زراعی ارائه شده (FAO, 1978, 1981) سرعت رشد در مرحله خطی (LGR، کیلوگرم در هکتار در روز) و کل ماده خشک تولیدشده (TDM، کیلوگرم در هکتار) در شرایط پتانسیل از روابط (۱) و (۲) به‌دست می‌آید:

$$LGR = \frac{0.72 \times GPHOT}{(1 + 0.25 \times C_i \times p)} \qquad (۱)$$

$$TDM = \frac{0.36 \times GPHOT}{(\frac{1}{p} + 0.25 \times C_i)} \qquad (۲)$$

در این معادلات GPHOT میانگین سرعت فتوسنتز ناخالص کانوپی (کیلوگرم گلوکز در هکتار در روز)، p طول دوره رشد (۲۳۸ روز در نظر گرفته شد) و Ci ضریب تنفس نگهداری (Maintenance respiration) است و مقادیر ثابت این معادلات مربوط به تنفس رشد (Growth respiration) و تصحیح ضریب تنفس نگهداری می‌باشد.

برآورد عملکرد پتانسیل به روش فائو تغییریافته

در این روش که مدل خلاصه‌شده ورستیخ و ون کیولن (Versteeg & van Keulen, 1986) می‌باشد و نوع تغییریافته روش فائو محسوب می‌شود، برای محاسبه‌ی کل ماده خشک تولید شده (TDM، کیلوگرم در هکتار) به داده‌های طول دوره رشد، میانگین دما (°C) و میانگین روزانه تشعشع خورشیدی ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) در طی دوره رشد خطی نیاز است. کل ماده خشک تولید شده (TDM، کیلوگرم در هکتار) از رابطه (۳) به‌دست آمد:

$$0.5 \times p \times TDM = 2500 + (0.4 \times p \times LGR) + (0.15 \times LGR) \qquad (۳)$$

که در آن LGR سرعت رشد در مرحله خطی (کیلوگرم در هکتار در روز) p طول دوره رشد می‌باشد. ضرایب ۰/۴ و ۰/۱۵ به‌ترتیب

نشان‌دهنده سهم دوره رشد خطی و رشد نهایی از کل دوره رشد بوده و سرعت رشد در مرحله نهایی نصف LGR در نظر گرفته‌شده‌است. جزئیات روش فائو و فائو تغییریافته در مقاله نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri mahallati & Koocheki, 2018)، کاملا تشریح شده‌است. در نهایت میزان کل ماده خشک تولید شده (TDM، کیلوگرم در هکتار) در هر دو روش فائو و فائو تغییریافته در شاخص برداشت عملکرد ریشه ضرب شده و مقدار ماده خشک تولیدشده در هر سال محاسبه شد (مقدار شاخص برداشت عملکرد ریشه چغندرقند بیانگر نسبت عملکرد ریشه چغندرقند به کل زیست‌توده گیاه می‌باشد که ۰/۷۵ (Sanghera *et al.*, 2016) در نظر گرفته شد). در نهایت عملکرد ریشه چغندرقند بر مبنای ۲۵ درصد ماده خشک محاسبه شد (Abdollahian-Noghabi *et al.*, 2013). نتایج بدست آمده از روش فائو و فائو تغییریافته با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین جذرمربعات خطا تعیین اعتبار شد. RMSE% معیاری است که در آن انحراف معیار خطای پیش‌بینی (RMSE) به‌عنوان درصدی از میانگین مشاهدات بیان می‌شود (رابطه ۴).

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۴)$$

برآورد خلاء عملکرد

اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی به‌دست آمده در یک منطقه خلا عملکرد نامیده می‌شود. میزان خلا عملکرد (YG) از رابطه (۵) محاسبه شد که در آن اختلاف بین عملکرد پتانسیل محاسبه شده (YFi) از عملکرد واقعی مشاهده شده (Yai) به‌عنوان خلا عملکرد لحاظ گردید (رابطه ۵):

$$YGi = YFi - Yai \quad (۵)$$

ضریب عملکرد منطقه (RYF)

ضریب عملکرد منطقه (Regional Yield Factor) معیاری است از بهبود روش‌های مدیریت یک منطقه در طی زمان (Andarzian, 2019) که از رابطه (۶) محاسبه شد.

$$RYF=Ya/Yp \quad (۶)$$

در این معادله، Ya عملکرد واقعی و Yp عملکرد پتانسیل است. مقدار ضریب عملکرد منطقه‌ای بین صفر و ۱ متغیر بوده و نشان‌دهنده میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت صحیح آب، مواد غذایی، آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز و بهینه‌سازی عملیات زراعی نظیر تراکم و تاریخ کاشت، مقدار عملکرد واقعی به پتانسیل نزدیک‌تر شده و RYF به سمت ۱ خواهد رفت که نشان‌دهنده میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت عوامل محدودکننده و عوامل کاهنده تولید می‌توان مقدار عملکرد واقعی را به عملکرد پتانسیل نزدیک کرد (Badsar *et al.*, 2017).

فشرده‌سازی

در این مطالعه فشرده سازی بوم‌نظام‌های زراعی چغندرقند در بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در منطقه تربت‌حیدریه با استفاده از شاخص‌های مرتبط با ورودی‌ها و شاخص‌های مرتبط با خروجی‌ها محاسبه شد.

سنجش فشرده‌سازی بر اساس ورودی‌ها

برای محاسبه میزان فشرده‌سازی از شاخص هزینه برای ورودی‌های مزرعه شامل انواع کودهای شیمیایی معمول مورد استفاده در منطقه شامل کود اوره (مقدار نیتروژن ۴۶٪) و سوپرفسفات تریپل (P_2O_5) استفاده شد. در نهایت بعد از محاسبه هزینه‌های مصرفی در هر هکتار مقایسه فشرده‌سازی در سال‌های مورد مطالعه بر مبنای هزینه انجام شده صورت گرفت (Commission, 2012). برای محاسبه‌ی هزینه‌ی هر کدام از نهاده‌ها در هر سال، میانگین قیمت هر نهاده در هر سال از سایت www.indexmundi.com استخراج شد. با توجه به نوسانات زیاد قیمت ریال در طی سال‌های اخیر، تمامی قیمت‌های به دلار آمریکا محاسبه شد.

سنجش فشرده‌سازی بر اساس خروجی‌ها

از لحاظ فیزیولوژیک فشرده‌سازی در خروجی عبارت است از افزایش تولید به ازای واحد سطح و زمان (Hunt, 2000). برای محاسبه فشرده‌سازی با استفاده از این سنجش میزان تولید چغندرقند در هر سال به‌ازای واحد سطح محاسبه شده و گراف مربوط به تغییرات این روند در سال‌های مورد مطالعه رسم شد. ارزیابی روند از طریق برازش رگرسیون خطی به تغییرات هر متغیر (y) در طی زمان (x) انجام شد. شیب خط رگرسیون تعیین‌کننده‌ی نرخ تغییر در واحد زمان می‌باشد.

ارزیابی ثبات عملکرد

در این مطالعه ثبات عملکرد چغندرقند در منطقه تربت حیدریه با دو روش مختلف مورد ارزیابی قرارگرفت.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس باقی‌مانده رگرسیون

معادله رگرسیون عملکرد هر محصول در سال‌های متوالی نشان‌دهنده‌ی روند تغییرات عملکرد در طی زمان است. باقی‌مانده این معادله رگرسیون یعنی اختلاف بین عملکردهای واقعی و پیش‌بینی شده در هر سال نشان‌دهنده تاثیر شرایط محیطی (آب و هوایی) بر عملکرد بوده و بنابراین، شاخصی از ثبات محسوب می‌شود (Nassiri

Mahallati & Koocheki, 2014). جهت محاسبه دقیق باقی‌مانده رگرسیون لازم است که ابتدا مدل رگرسیونی مناسبی برای توصیف روند تغییرات عملکرد هر محصول به‌دست آید. پایین بودن ضریب تبیین (R^2) معادله روند موجب افزایش باقی‌مانده رگرسیون شده و نتایج را غیرقابل‌اتکا خواهد کرد بر این اساس در این مطالعه مدل‌های رگرسیون خطی (رابطه ۷) و خطی دو قطعه‌ای (رابطه ۸) و سه قطعه‌ای (رابطه ۹) برای توصیف روند عملکرد هر یک از محصولات تحت بررسی مورد مقایسه قرارگرفت و بهترین مدل بر اساس بزرگ‌ترین ضریب تبیین و نرمال بودن توزیع باقی‌مانده آن‌ها (Calderini & Slafer, 1998) انتخاب شد.

مدل خطی
$$Y = a + bx \qquad (۷)$$

مدل خطی دو قطعه‌ای
$$\begin{cases} Y = a + bx & \text{if } x \le c \\ Y = a + bc + d(x-c) & \text{if } x < c \end{cases} \qquad (۸)$$

مدل خطی سه قطعه‌ای
$$\begin{cases} Y = a + bx & \text{if } x \le c \\ Y = a + bc + d(x-c) & \text{if } e \le x < c \\ Y = a + bc + d(e-c) + f(x-c) & \text{if } x < e \end{cases} \qquad (۹)$$

که در آن‌ها Y عملکرد، x سال (از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵)، a عرض از مبداء b سرعت افزایش عملکرد طی اولین مرحله خطی، c سالی که در آن اولین نقطه عطف بروز می‌کند، d سرعت افزایش عملکرد در طی دومین مرحله خطی، e سالی که در آن دومین نقطه عطف معادله روند قرار دارد و f سرعت افزایش عملکرد در طی سومین مرحله خطی می‌باشد. پس از انتخاب مدل، اختلاف بین عملکرد واقعی و پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل رگرسیون به‌عنوان باقی‌مانده عملکرد محاسبه شد. از آن‌جا که در ارزیابی ثبات، تنها قدر مطلق تغییرات عملکرد اهمیت دارد، قدرمطلق تمامی باقی‌مانده‌های عملکرد محاسبه‌شده و پس از آن با تقسیم باقی‌مانده عملکرد بر عملکرد واقعی، باقی‌مانده نسبی عملکرد بوسیله مدل رگرسیونی محاسبه شد تا مشخص شود که باقی‌مانده عملکرد در هر سال چه درصدی از عملکرد آن سال است (Calderini & Slafer, 1998). نهایتا با رسم نمودار مقادیر نسبی باقی‌مانده عملکرد در سال‌های تحت بررسی، روند ثبات عملکرد برای هر محصول به‌دست آمد.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس ضریب تغییرات عملکرد

ضریب تغییرات عملکرد برای دوره‌های دوساله با تقسیم انحراف معیار بر میانگین آن دو سال به‌دست آمد و معادله رگرسیون خطی آن نیز به منظور تعیین جهت روند ضریب تغییرات عملکرد محاسبه شد. شیب مثبت این معادله (b) به معنای افزایش بی‌ثباتی، شیب منفی به معنای افزایش ثبات و شیب صفر ثبات نسبی ضریب تغییرات عملکرد را در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد.

کارایی جذب، استفاده و مصرف نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن (NUE) شامل کیلوگرم عملکرد اقتصادی ریشه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده است که به دو جز کارایی جذب و کارایی استفاده از نیتروژن تقسیم می‌شود (Moll *et al.*,1982).

کارایی جذب نیتروژن (NUpE) مقدار نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک است (Moll *et al.*, 1982) که از رابطه (۱۰) محاسبه شد (Bicharanloo *et al.*, 2021).

$$NUpE = \frac{N_u}{N_f} \times 100 \qquad (۱۰)$$

در این فرمول Nu نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم در هکتار) و Nf مقدار نیتروژن موجود در خاک (نیتروژن کودی مصرف شده و نیتروژن خاک) می‌باشند.

به‌منظور محاسبه Nf (رابطه ۱۱) برای محصول چغندرقند، مقدار نیتروژن خالص مصرفی از طریق کود برای هر سال محاسبه شد. علاوه بر آن با استفاده از جرم مخصوص ظاهری خاک، مقدار نیتروژن موجود در خاک نیز تخمین زده شد. مجموع نیتروژن خالص مصرفی و نیتروژن موجود در خاک مقدار Nf این محصول را تشکیل داد (Bicharanloo *et al.*, 2021). با توجه به کوچک بودن بذر چغندرقند، و ناچیز بودن مقدار نیتروژن موجود در بذر، نیتروژن بذری برای این محصول در نظر گرفته نشد.

Nf = نیتروژن کود + نیتروژن خاک (۱۱)

برای تخمین مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه، ابتدا عملکرد ماده خشک سالانه با تقسیم عملکرد اقتصادی ریشه بر شاخص برداشت عملکرد ریشه محاسبه شد (شاخص برداشت عملکرد ریشه چغندرقند ۰/۷۵ در نظر گرفته شد (Sanghera *et al.*, 2016)) تفاضل عملکرد ماده خشک از عملکرد اقتصادی، عملکرد زیست‌توده برای هر سال خواهد بود. در نهایت نیتروژن جذب شده توسط گیاه از جمع نیتروژن محصول اقتصادی (درصد نیتروژن ×عملکرد اقتصادی) و نیتروژن زیست‌توده (درصد نیتروژن زیست‌توده×عملکرد زیست‌توده) به‌دست آمد (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017). کارایی استفاده از نیتروژن (NUtE) کیلوگرم عملکرد اقتصادی ریشه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده که به کارآیی فیزیولوژیکی نیتروژن نیز موسوم است (رابطه ۱۲).

$$NUtE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{Nu} \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲) GY fertilized عملکرد اقتصادی ریشه با مصرف نیتروژن، GY unfertilized عملکرد اقتصادی ریشه بدون مصرف نیتروژن می‌باشند. عملکرد اقتصادی بدون مصرف نیتروژن معادل

عرض از مبدا خط رگرسیون (رابطه ۱۳) بین عملکرد اقتصادی ریشه (GY) و میزان کود مصرفی متناظر با آن (Nf) به‌عنوان GYunfertilized در نظر گرفته شد (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017).

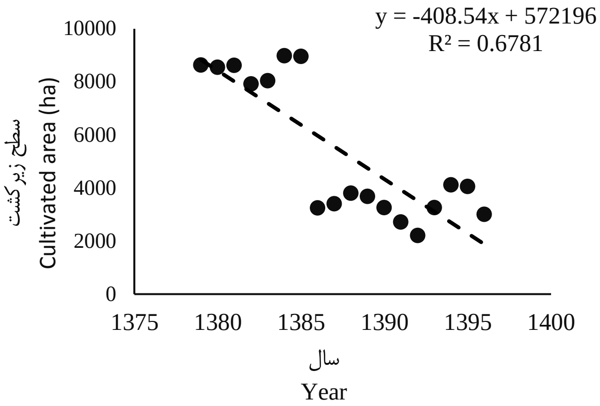
$$GY = a + PNP \times N_f \qquad (۱۳)$$

در نهایت میزان کارایی مصرف نیتروژن (NUE) نیز با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه شد.

$$NUE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{N_f} \qquad (۱۴)$$

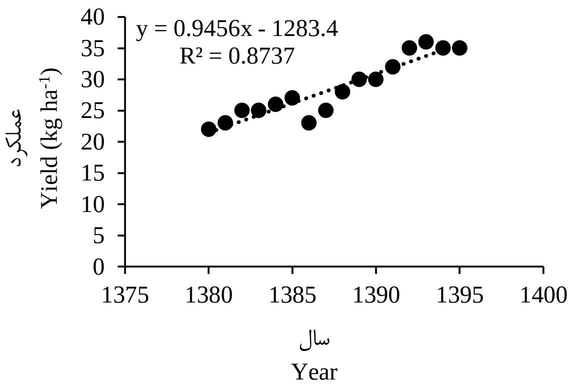
نتایج و بحث

بررسی روند سطح زیر کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه نشان داد که در بازه‌ی زمانی ۹۵-۱۳۸۰ سطح زیر کشت این محصول روندی کاهشی داشت (شکل ۲). در این بازه‌ی زمانی، سالانه ۴۰۸ هکتار از سطح زیر کشت مزارع چغندرقند در منطقه تربت حیدریه کاسته شد. بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت چغندرقند در کل کشور نیز نشان داد که از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ سطح زیرکشت چغندرقند در کشور ۲۹ درصد کاهش یافت (Ministry of Agriculture-Jahad, 2001, 2016).



شکل ۲- روند تغییرات سطح زیرکشت چغندرقند در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

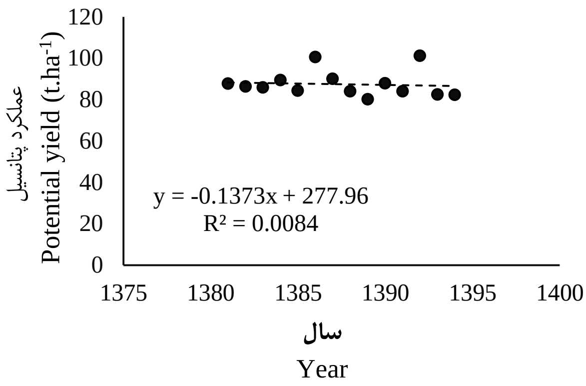
Figure 2- Trend of sugar beet cultivated area variations in the Torbat-e Heydariyeh from 2001-2016



شکل ۳- روند تغییرات عملکرد چغندرقند در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

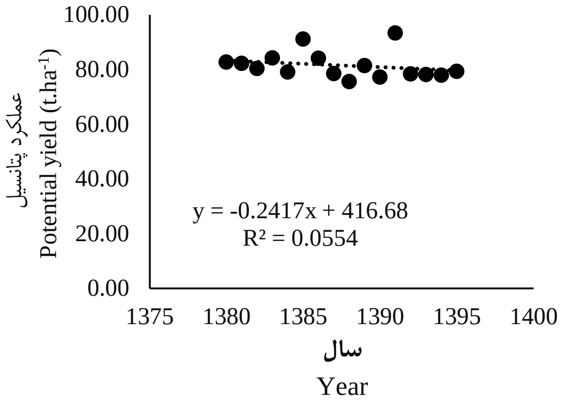
Figure 3- Trend of sugar beet yield variations in the Torbat-e Heydariyeh from 2001-2016

برخلاف سطح زیرکشت، تغییرات عملکرد چغندرقند در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۰ در منطقه تربت حیدریه روندی افزایشی نشان داد (شکل ۳). بر اساس این مدل در دوره‌ی مورد اشاره متوسط رشد سالانه عملکرد چغندرقند ۰/۹۴ تن در هکتار بود. متوسط عملکرد چغندرقند در دوره‌ی مورد مطالعه ۲۸/۵ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۳). با وجود کاهش سطح زیرکشت چغندرقند، عملکرد این محصول در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی ۱۵ ساله ۵۹ درصد افزایش یافت. افزایش عملکرد در یک منطقه می‌تواند به کمک روش‌های به‌نژادی یا روش‌های به‌زراعی تحقق یابد (Cobb *et al.*, 2013). روش‌های به‌نژادی از طریق بهبود عملکرد پتانسیل با کمک اصلاح نباتات (Brummer *et al.*, 2011) و روش‌های به‌زراعی از طریق بهبود عملکرد واقعی با کمک تغییر در روش‌های مدیریتی و کاهش خلا عملکرد محقق می‌شود (Senapati & Semenov, 2020). باعنایت به این مطالب عملکرد پتانسیل در بازه زمانی مورد مطالعه با استفاده از دو روش فائو و فائو تغییریافته تخمین زده شد. نتایج به‌دست آمده از هر دو روش با استفاده از معیار آماری RMSE% تعیین اعتبار شد. مقدار RMSE% برای هر دو روش فائو و فائو تغییریافته نشان‌دهنده‌ی پیش‌بینی خوب مدل بود. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد پتانسیل چغندرقند به روش فائو ۸۷ تن در هکتار (شکل ۴) و به روش فائو تغییریافته ۸۱/۳ تن در هکتار (شکل ۵) محاسبه شد. روند عملکرد پتانسیل با هر دو روش محاسباتی طی سال‌های مورد مطالعه تغییر زیادی نداشته و با شیب خیلی کم رو به کاهش داشت.



شکل ٤- تخمین عملکرد پتانسیل چغندرقند به روش فائو حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

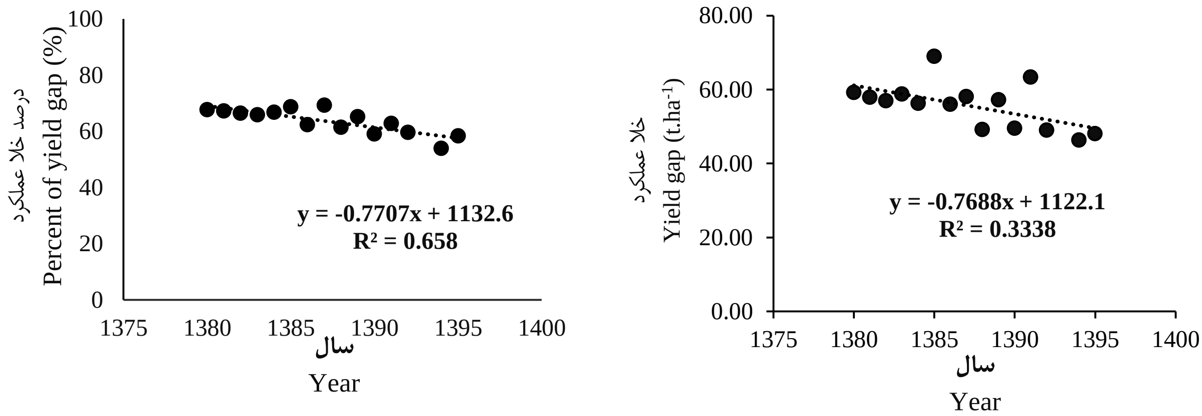
Figure 4- Predicted potential yield of sugar beet obtained via the FAO method from 2001-2016



شکل ٥- تخمین عملکرد پتانسیل چغندرقند به روش فائو تغییریافته حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 5- Predicted potential yield of sugar beet obtained via the modified FAO method from 2001-2016

کاهش جزئی عملکرد پتانسیل در طی ۱۵ سال در هر دو روش (شکل ۴ و ۵) نشان می‌دهد که دلیل افزایش میانگین عملکردهای مشاهده شده در این بازه، به دلیل بهبود عملکرد پتانسیل نبوده و افزایش عملکرد مشاهده شده در بازه زمانی مورد مطالعه تحت تاثیر عوامل به‌زراعی صورت گرفته است. عوامل به‌زراعی با کمک استفاده از روش‌های مدیریتی در مزارع، بهبود عملکرد واقعی و کاهش خلا عملکرد در منطقه افزایش عملکرد را رقم می‌زنند (Senapati & Semenov, 2020). از همین رو در گام بعدی پژوهش تغییرات خلا عملکرد چغندرقند در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. اختلاف بین عملکرد پتانسیل و حداکثر عملکرد واقعی به‌دست آمده در یک منطقه خلا عملکرد نامیده می‌شود. بررسی نتایج نشان داد که خلا عملکرد چغندرقند در بازه زمانی مورد مطالعه در منطقه تربت حیدریه به‌طور میانگین ۳۵ تن در هکتار برآورد شد، که این میزان در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه روندی کاهشی داشت (شکل ۶). درصد خلا عملکرد چغندرقند در طی سال‌های مورد مطالعه بین ۵۳ تا ۶۹ درصد محاسبه شد. که به‌طور میانگین میزان درصد خلا عملکرد چغندرقند در طی این سال‌ها ۶۳ درصد محاسبه شد (شکل ۶).

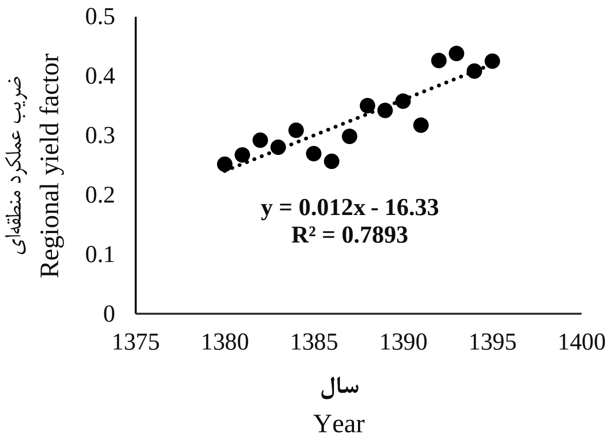


شکل ٦- روند تغییرات خلاعملکرد و درصد خلا عملکرد چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 6- Trend of sugar beet yield gap and percentage of yield gap in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

در سال‌های پایانی مطالعه (۱۳۹۵) درصد خلا عملکرد چغندرقند ۱۳ درصد نسبت به سال‌های اولیه‌ی مورد مطالعه (۱۳۸۵) بهبود یافت (شکل ۶). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که میزان خلا عملکرد با شرایط آب و هوایی سالانه بستگی دارد به این صورت که میزان خلا عملکرد در سال‌هایی با پتانسیل تولید پایین‌تر، کمتر از سال‌هایی با پتانسیل بالاتر است (Caldiz *et al*., 2001; Abeledo *et al*., 2008). باعنایت به مطالب فوق به نظر می‌رسد که کاهش جزئی عملکرد پتانسیل در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه در منطقه بر کاهش

خلا عملکرد تاثیر جزئی داشته است اما دلیل اصلی کاهش خلا عملکرد از طریق افزایش عملکرد واقعی در منطقه حاصل شد. به طوری‌که افزایش قابل‌توجه عملکرد واقعی (شکل ۳) در کنار کاهش جزئی عملکرد پتانسیل (شکل ۴ و ۵)، کاهش خلا عملکرد را در پی داشته است (شکل ۶). گوبت و همکاران (Gobbett *et al*., 2017) نیز بیان داشتند که از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند حاصل شود، از طریق بهبود مدیریت ممکن می‌شود. با عنایت به مطالب فوق میزان ضریب عملکرد منطقه (RYF) به‌عنوان معیاری برای بررسی میزان بهبود روش‌های مدیریت در طی زمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین ضریب عملکرد منطقه‌ی تربت حیدریه در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، ۰/۳۳ به‌دست آمد (شکل ۷). در طی سال‌های مطالعه روند ضریب عملکرد منطقه‌ای برای چغندرقند افزایش یافت. به‌طوری‌که از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ برای چغندرقند ۶۹ درصد افزایش ضریب عملکرد منطقه‌ای مشاهده شد (شکل ۷).

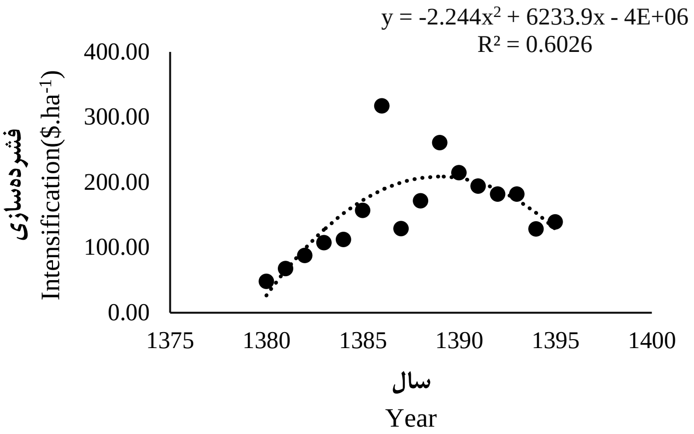


شکل ۷- روند تغییرات ضریب عملکرد منطقه‌ای چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵
Figure 7- Trend of sugar beet regional yield factor in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

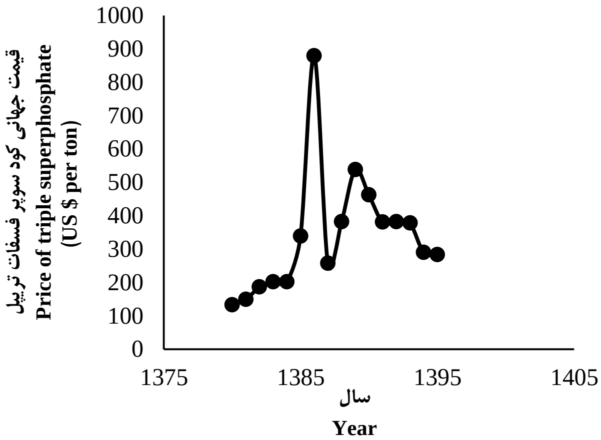
با توجه به این‌که ضریب عملکرد منطقه‌ای عملیات مدیریتی کشاورزان هر منطقه را نمایش می‌دهد (Lobell *et al*., 2009) افزایش این ضریب نشان‌دهنده ارتقای عملیات مدیریتی در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه بود. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر عملیات مدیریتی بوم‌نظام‌های کشاورزی به سمت مدیریت فشرده و استفاده از فناوری‌های گوناگون، خاک‌ورزی فشرده، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های شیمیایی در حرکت است که منجر به افزایش فشرده‌سازی در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌گردد (Thomson *et al*., 2019; Cassman & Grassini, 2020). بنابراین به‌منظور بررسی روند تغییرات فشرده‌سازی، میزان فشرده‌سازی در طی ۱۵ سال مورد مطالعه برای بوم‌نظام چغندرقند در منطقه تربت حیدریه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش میزان فشرده‌سازی با استفاده از دو روش (براساس پارامترهای ورودی و خروجی) محاسبه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان فشرده‌سازی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ افزایش یافت (شکل ۸). نتایج نشان داد که میزان فشرده‌سازی در بوم‌نظام چغندرقند از ۴۷/۵ دلار در هکتار در سال ۱۳۸۰ به ۱۳۹ دلار در هکتار در سال ۱۳۹۵ افزایش یافت (شکل ۸). در طی دوره‌ی مطالعه درصد افزایش فشرده‌سازی در چغندرقند بیشتر از صد در صد بود به طوری‌که، میزان فشرده‌سازی در چغندرقند ۱۹۲ درصد افزایش یافت. بررسی روند تغییرات میزان فشرده‌سازی نشان داد که میزان فشرده‌سازی در سال ۱۳۸۶ افزایش شدیدی داشت به طوری‌که از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ روند فشرده‌سازی افزایشی و بعد از آن از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ روندی کاهشی از خود نشان داد (شکل ۸).

دلیل افزایش شدید فشرده‌سازی در سال ۱۳۸۶ به دلیل افزایش ناگهانی قیمت کود سوپر فسفات تریپل (شکل ۹) و اوره (شکل ۱۰) در سطح بین‌المللی در این سال بود (www.indexmundi.com).

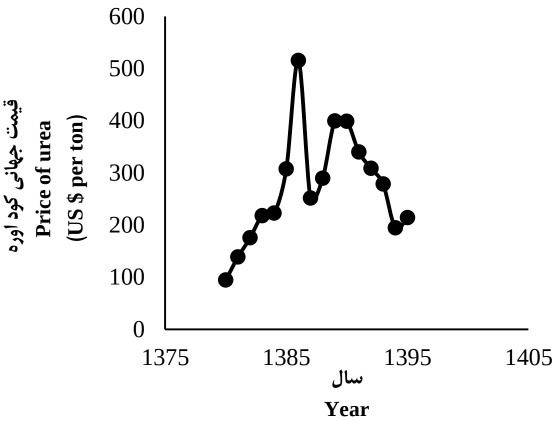
با وجود روند کاهشی فشرده‌سازی از سال ۱۳۸۶ به بعد، اما میزان مصرف هر دو کود اوره و سوپرفسفات تریپل در محصولات مورد بررسی روندی افزایشی داشت (شکل ۱۱). لذا به نظر می‌رسد که دلیل روند کاهشی فشرده‌سازی از سال ۱۳۸۶ به بعد در این پژوهش صرفا به دلیل کاهش قیمت‌های جهانی این نهاده‌ها بوده است، در حالی که مصرف کودهای شیمیایی مورد استفاده افزایش یافته بود.



شکل ۸- روند تغییرات فشرده‌سازی بوم‌نظام‌های چغندرقند در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵
Figure 8- Trend of intensification of sugar beet systems in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

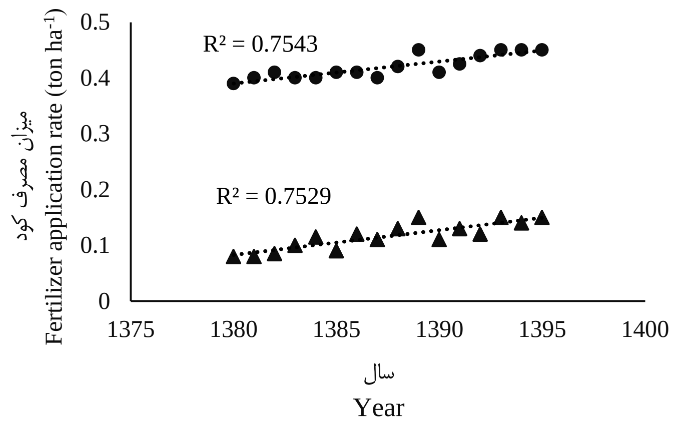


شکل ۹- روند تغییرات جهانی قیمت کود سوپر فسفات تریپل از سال ۱۳۸۰-۱۳۹۵
Figure 9- Trend of global changes in the price of triple superphosphate fertilizer from 2001-2016



شکل ۱۰- روند تغییرات جهانی قیمت کود اوره از سال ۱۳۸۰-۱۳۹۵
Figure 10- Trend of global changes in the price of urea fertilizer from 2001-2016

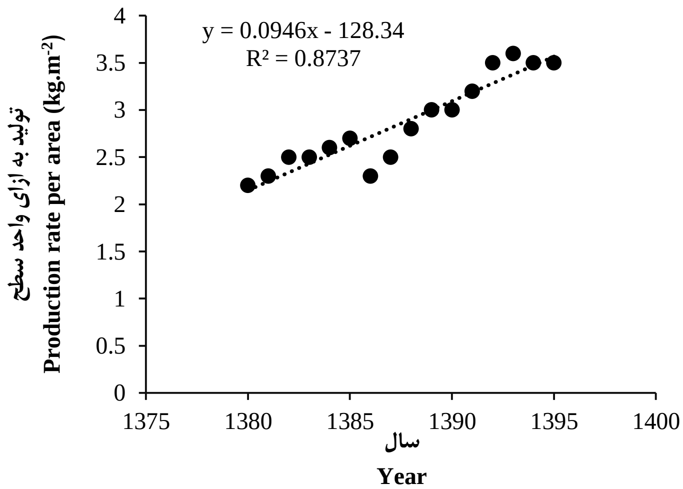
میزان مصرف کودهای شیمیایی در منطقه در حال افزایش است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که متوسط مصرف اوره در ایران ۳۸ درصد بیشتر از میانگین جهانی است (Dihim Fard & Nazari, 2015). در همین راستا کاروالهو (Carvalho, 2006) اظهار داشت که کشورهای در حال‌توسعه و توسعه‌یافته در میزان استفاده از سموم شیمیایی در دو جهت مخالف در حال حرکت هستند، در حالی‌که کشورهای در حال توسعه تمایل به استفاده بیشتر از سموم شیمیایی دارند، کشورهای توسعه‌یافته در حال کاهش میزان استفاده از سموم هستند. به‌عبارتی پژوهشگران دلیل افزایش سریع مصرف سموم در کشورهای در حال توسعه را ناشی از اهمیت بیشتر تامین غذا نسبت به نگرانی‌های زیست‌محیطی دانسته‌اند (Wilson & Otsuki, 2004). هانت (Hunt, 2000) معتقد است به علت این‌که هدف از کشاورزی تولید می‌باشد، شاخص‌های خروجی در سیستم‌های کشاورزی برآورد دقیق‌تر و بهتری از فشرده‌سازی اراضی به‌دست می‌دهند به‌همین دلیل میزان فشرده‌سازی بر اساس پارامترهای خروجی نیز اندازه‌گیری شد. براساس گزارش کمیسیون مشترک کشورهای متحده اروپا (Commission, 2012) فشرده‌سازی عبارت است از افزایش ورودی‌های کشاورزی در هر هکتار زمین زراعی که نهایتا باعث افزایش تولید در واحد سطح می‌گردد. در همین راستا بررسی فشرده‌سازی بر اساس میزان تولید به ازای واحد سطح نشان داد که میزان تولید به‌ازای واحد سطح روندی افزایشی داشت (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- روند تغییرات میزان مصرف کود اوره و سوپر فسفات تریپل در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵ در منطقه تربت حیدریه

Figure 11- Trend of changes in urea and triple superphosphate fertilizer application in the sugar beet systems in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

Superphosphate▲ Urea ●

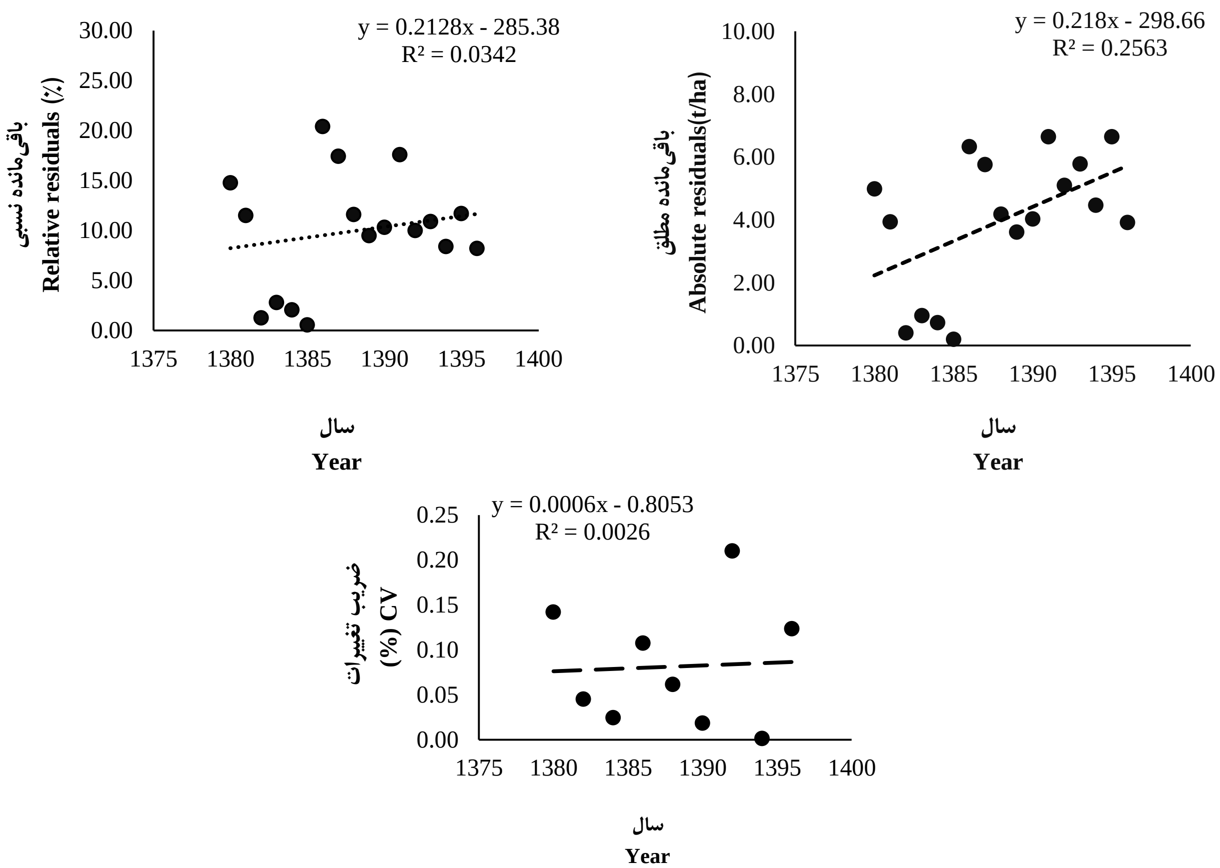


شکل ۱۲- روند تغییرات میزان تولید چغندرقند به ازای واحد سطح در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 12- Trend of in sugar beet production changes per unit area in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میزان تولید چغندرقند در یک مترمربع از دو کیلوگرم در مترمربع سال ۱۳۸۰ به ۳/۶ کیلوگرم در مترمربع سال ۱۳۹۵ افزایش یافت. که نشان‌دهنده افزایش ۸۰ درصدی در طی سال‌های مورد مطالعه است (شکل ۱۲). با توجه به این‌که یکی از اهداف مهم در فشرده‌سازی افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش تولید است. افزایش تولید به‌ازای واحد سطح و زمان در یک منطقه، معیاری از افزایش فشرده‌سازی است (Beckmann *et al.*, 2019). بررسی نتایج در منطقه تحت بررسی برای بوم‌نظام چغندرقند نشان‌دهنده کاهش خلا عملکرد و افزایش عملکرد در طی سال‌های مورد مطالعه است. اما مطالعات نشان می‌دهد که افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد مشاهده‌شده در این منطقه در صورتی تضمین‌کننده‌ی امنیت غذایی خواهد بود که با ثبات عملکرد همراه باشد (Urruty *et al.*, 2016). به‌عبارت دیگر، افزایش تولید باید به‌نحوی باشد که بوم‌نظام‌های کشاورزی، توانایی حفظ پایدار پتانسیل تولید در طی زمان را داشته‌باشند (Altieri, 2002). یکی از مولفه‌های مهم تولید پایدار در بوم‌نظام‌های کشاورزی، ثبات عملکرد است (Knapp & der Heijden, 2018). ثبات بیان‌کننده شدت نوسانات عملکرد در مواجه با تغییرات کوتاه‌مدت محیطی بوده و معیاری از نوسانات سال به سال عملکرد در یک منطقه است (Nielsen & Vigil, 2018). نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در طی ۱۵ سال گذشته به دلیل

نوسانات عملکرد، پراکندگی نسبتا زیادی در میزان باقی‌مانده مطلق عملکرد چغندرقند مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد که میزان پراکندگی مقادیر مطلق باقی‌مانده رگرسیون در چغندرقند بین ۰/۲ تا ۶/۶ تن در هکتار متغیر بود و روند تغییرات آن افزایشی بود که نشان‌دهنده افزایش بی‌ثباتی در سیستم‌های کشت چغندرقند بود (شکل ۱۳).



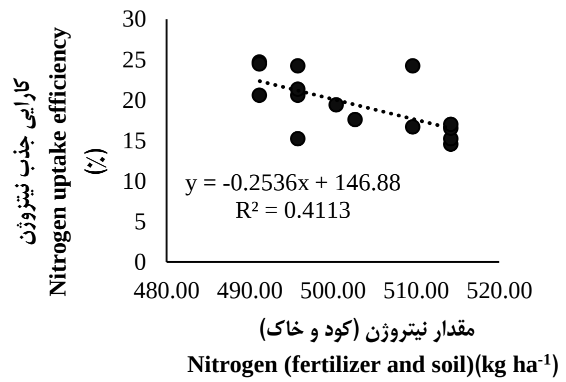
شکل ۱۳- روند تغییرات ثبات عملکرد (مقادیر مطلق و نسبی باقی‌مانده عملکرد و ضریب تغییرات عملکرد) چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

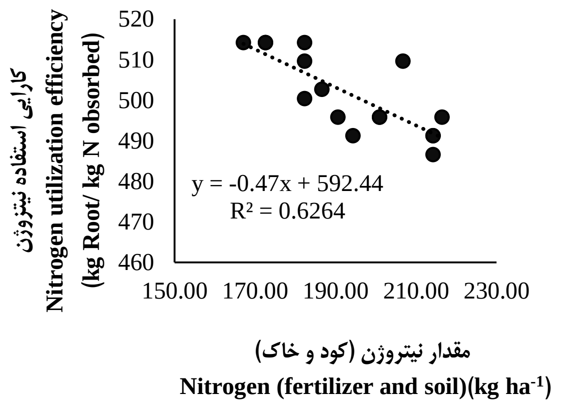
Figure 13- Trend of changes in stability (absolute, relative residual values and coefficient of variation) of sugar beet yield in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

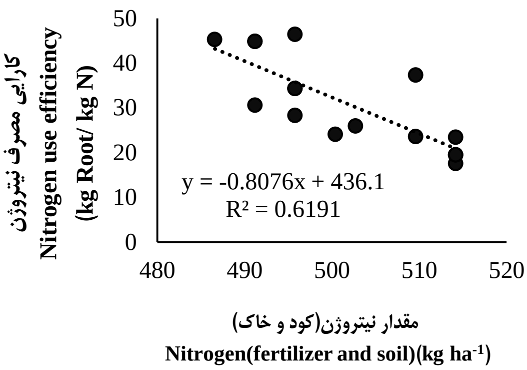
بررسی روند تغییرات مقادیر باقی‌مانده نسبی چغندرقند در طی ۱۵ سال مورد مطالعه نیز نشان داد که، باقی‌مانده نسبی عملکرد چغندرقند هر ساله با ۲۱ درصد افزایش به‌سوی بی‌ثباتی بیشتر پیش‌رفته است (شکل ۱۳). به نظر می‌رسد که علاوه بر افزایش فشرده‌سازی در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند، بروز تغییرات سالانه‌ی آب و هوایی نیز منجر به کاهش ثبات عملکرد در بوم‌نظام مورد مطالعه گردیده است. در این راستا آبلدو و همکاران (Abeledo *et al.*, 2008) بیان داشتند که در چند دهه گذشته با به‌کارگیری روش‌های نوین کشاورزی عملکرد محصولات، روندی افزایشی داشته است و میزان خلا عملکرد کاهش یافته است اما این کاهش خلا عملکرد با افزایش بی‌ثباتی در بوم‌نظام‌های زراعی همراه بوده است. علاوه بر آن در دهه‌های اخیر افزایش فراوانی پدیده‌های حدی نظیر خشکسالی، موج‌های گرما و سرما که از پیامدهای قطعی تغییر اقلیم می‌باشد نیز تاثیر زیادی بر کاهش ثبات عملکرد محصولات زراعی داشته است (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014). ضریب تغییرات به‌عنوان معیاری ساده و پرکاربرد، انحراف معیار عملکرد نسبت به میانگین را در محیط‌ها، دوره‌های زمانی و یا سال‌های مختلف اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین ضریب تغییرات بیشترعملکرد، به معنای نوسانات بیشتر و در نتیجه بی‌ثباتی بیشتر عملکرد است (Ray *et al.*, 2015). دامنه‌ی ضریب تغییرات عملکرد چغندرقند بین صفر تا ۰/۲۱درصد مشاهده‌شد که نشان‌دهنده‌ی بی‌ثباتی در بوم‌نظام مورد مطالعه بود (شکل ۱۳). شیب روند ضریب‌تغییرات عملکرد برای چغندرقند (۰/۰۰۰۶ درصد

تقریبا ثبات بەدستآمد که نشان می‌دهد شرایط بی‌ثباتی این بوم‌نظام در طی سال‌های مورد مطالعه همچنان به حالت بی‌ثبـات حفـظ شـده است (شکل ۱۳). مطالعات مختلفی بیانگر وجود نـوعی رابطـه منفـی بین عملکرد و ثبات در سیستم‌های کشـاورزی مـی‌باشـد (Urruty et al., 2016; Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014) عدم ثبات عملکرد مطلوب در بوم‌نظام‌مورد مطالعه نشان مـی‌دهـد کـه افـزایش عملکرد مشاهده‌شده در این بوم‌نظام در درازمدت پایدار نخواهـد بـود. لذا عدم تغییر شیوه مدیریتی این بوم‌نظام‌ها در درازمدت خطر کـاهش شدید تولید و عملکرد را در پی خواهد داشت. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر میـزان ثبـات عملکـرد محصـولات زراعـی، کـارایی مصـرف کودهـای شـیمیایی اسـت (Dimkpa et al., 2020). در چنـد دهـه گذشته کاهش کارایی مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش میـزان مصرف این نهاده‌ها شده کـه خـود منجـر بـه افـزایش بـی‌ثبـاتی در سیستم‌های زراعی می‌گردد (Foulkes et al., 2009). از این‌رو بهبود

کارایی مصرف نیتـروژن نـوعی اسـتراتژی کلیـدی جهـت پـیش‌بـرد نظام‌های کشاورزی پایدار اسـت کـه منجـر بـه رسـیدن بـه حـداکثر عملکرد در ازای مصرف حداقل نهاده‌ها و هدر رفت نیتروژن می‌شـود (Congreves et al., 2021). کـارایی مصـرف نیتـروژن بـه دو جـز کارایی جذب و کارایی استفاده از نیتروژن تقسیم مـی‌شـود (Moll et al., 1982). بررسی میزان کارایی جذب نیتروژن نشان داد که میـزان کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های چغندرقنـد در سـال‌هـای مـورد مطالعه کمتر از ۳۰ درصد بود که نشان‌دهنده پایین بودن کارایی جذب نیتروژن است (شکل ۱۳). مطالعات نشان می‌دهد که در سیستم‌هـای فشرده‌ی کشـاورزی بـیش از ۵۰ درصـد از نیتـروژن اعمـال شـده در مزرعه توسط گیاه استفاده نمی‌شود. با توجه به افزایش میزان مصـرف کودهای شیمیایی در بوم‌نظام‌های چغندرقند (شکل ۱۱)، مقدار کارایی جذب نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه با افزایش مصـرف کـود نیتروژن کاهش یافت (شکل ۱۴).







شکل ١٤- روند تغییرات کارایی جذب، استفاده و مصرف نیتروژن در چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰- ۱۳۹۵

Figure 14- Trend of nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency and nitrogen use efficiency of sugar beet in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

بر اساس نتایج بەدست آمده افـزایش مصـرف نیتـروژن در طـی سال‌های مـورد مطالعـه منجـر بـه کـاهش ۰/۴۷کیلـوگرم محصـول اقتصادی تولید شده به ازای کیلـوگرم نیتـروژن جـذب شـده (کـارایی استفاده از نیتروژن) در بـوم‌نظـام چغندرقنـد گردیـد. نتـایج نشـان داد

به‌ازای افزایش یک کیلوگرم نیتروژن در دسترس گیاه (مجموع نیتروژن کود و خاک) کارایی استفاده از نیتروژن و چغندرقند kg Root/ kg N ۰/۴۷ کاهش یافت (شکل ۱۴). در طی سال‌های مورد مطالعه با افزایش مصرف کود نیتروژن مقدار کارایی مصرف نیتروژن نیز کاهش یافت (شکل ۱۴). با توجه به روند کاهشی کارایی جذب، کارایی استفاده و کارایی مصرف نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه در منطقه، به نظر می‌رسد که کمبود کارایی مصرف نیتروژن عامل اصلی افزایش مصرف نیتروژن، افزایش فشرده‌سازی و کاهش ثبات در بوم‌نظام‌ها مورد مطالعه بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده کمبود کارایی مصرف نیتروژن منجر به افزایش مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های چغندرقند در طی سال‌های مورد مطالعه گردیده است که نهایتا افزایش فشرده‌سازی و کاهش ثبات عملکرد را در پی داشته است. مطالعات بسیاری نشان داده است که با تغییر برخی شیوه‌های زراعی، افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی کارایی مصرف نیتروژن امکان‌پذیر است (Hutchings *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Langholtz *et al.*, 2021). از جمله روش‌های زراعی جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌توان به تعیین بهترین زمان مصرف کودهای نیتروژنی (Dimkpa *et al.*, 2020; Wallace *et al.*, 2020)، تعیین بهترین نحوه‌ی مصرف کود نیتروژنی به طوری‌که تلفات مصرف را کاهش دهد (Zhang *et al.*, 2020) استفاده از روش‌های مطلوب کودپاشی مثل کودپاشی با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و یا کشت کود در عمق بذر (Wu *et al.*, 2021)، استفاده از مالچ‌های زیستی برای جلوگیری از هدر رفت نیتروژن (Yang *et al*, 2021) و استفاده از منابع زیستی و بومی تامین نیتروژن (Sharma & Bali, 2017) اشاره کرد. علاوه بر مدیریت زراعی تغییر روش‌ها و اهداف اصلاح ارقام زراعی تاثیر بالایی بر افزایش پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی دارد. اولویت قرار دادن بحث افزایش کارایی استفاده از نیتروژن و سایر نهاده‌ها در کنار افزایش عملکرد جهت تولید بذرهایی با کارایی بالاتر (Cormier *et al.*, 2016; van Bueren *et al.*, 2017) می‌تواند علاوه بر افزایش پایداری سیستم‌های کشاورزی، کارایی مصرف نهاده‌های کودی را افزایش داده و آلودگی‌های زیستی محیطی ناشی از مصرف کودهای نیتروژنی را نیز کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل اگرواکولوژی بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در منطقه تربت حیدریه نشان داد که عملکرد چغندرقند در منطقه مورد مطالعه رو به افزایش است اما این افزایش عملکرد از ثبات کافی برخوردار نمی‌باشد و همین امر پایداری کشت این محصول را در منطقه به خطر می‌اندازد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، به نظر می‌رسد که کاهش کارایی مصرف نیتروژن عامل اصلی افزایش مصرف نیتروژن، تشدید فشرده‌سازی و کاهش ثبات در بوم‌نظام‌ها کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه بوده است. لذا برنامه‌ریزی و تغییر شیوه‌ی مدیریتی در جهت بهره‌گیری از راهکارهای پایدار به منظور ارتقای کارایی مصرف نیتروژن، می‌تواند به‌عنوان اولین گام در جهت افزایش عملکرد و حرکت به سمت فشرده‌سازی اکولوژیک و افزایش پایداری در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه پیشنهاد گردد.

References

1. Abdollahian-Noghabi, M., Sharifi, H., Babaei, B., & Bahmani, G. (2013). Introduction of new formula for determination of autumn sugar beet purchase. *Journal of Sugar Beet*, 29(2), 227-215. https://doi.org/10.22092/jsb.2014.5635
2. Abeledo, L. G., Savin, R., & Slafer, G. A. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, *28*, 541-550. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.12.001
3. Altieri, M. A. (2002). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *93*(3): 1-24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3
4. Andarzian, S. B. (2019). Determination of sowing time, grain yield potential, yield gap, and risk analysis of wheat production in rainfed regions of Khuzestan Province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, *35*(2), 159-181. https://doi.org/10.22092/sppj.2019.120755
5. Badsar, M., Kamkar, B., Soltani, A., & Abdi, O. (2017). Yield gap estimation in wheat-grown fields using GIS and RS approach and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan, Iran). *Cereal Research*, *7*(2), 195-215. https://doi.org/10.22124/c.2017.2547
6. Berry, E. M., Dernini, S., Burlingame, B., Meybeck, A., & Conforti, P. (2015). Food security and sustainability: can one exist without the other? *Public Health Nutrition*, *18*(13), 2293-2302. https://doi.org/10.1017/S136898001500021X
7. Beckmann, M., Gerstner, K., Akin‐Fajiye, M., Ceauu, S., Kambach, S., Kinlock, N. L., Phillips, H. R., Verhagen, W., Gurevitch, J., Klotz, S., & Newbold, T. (2019). Conventional land‐use intensification reduces species richness and increases production: A global meta‐analysis. Global Change Biology, 25(6), 1941-1956.

https://doi.org/10.1111/gcb.14606
8. Brzozowski, L., & Mazourek, M. (2018). A sustainable agricultural future relies on the transition to organic agroecological pest management. *Sustainability*, *10*(6), 2023. https://doi.org/10.3390/su10062023
9. Bicharanloo, B., Rezvani Moghaddam, P., & Asadi, G. (2021). Does summer irrigation alter nitrogen uptake and utilisation efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) for different organic and chemical fertilisers? *Archives of Agronomy and Soil Science*, *67*(13), 1754-1769. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1808200
10. Brummer, E. C., Barber, W. T., Collier, S. M., Cox, T. S., Johnson, R., Murray, S. C., Richard T. O., Richard C. P., & Thro A. M. (2011) Plant breeding for harmony between agriculture and the environment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(10), 561-568. https://doi.org/10.1890/100225
11. Calderini, D. F., & Slafer, G. A. (1998). Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Research*, *57*(3), 335-347. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00080-X
12. Caldiz, D. O., Gaspari, F. J., Haverkort, A. J., & Struik, P. C. (2001). Agro-ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology*, *109*, 311-320. https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00231-3
13. Cassman, K. G., & Grassini, P. (2020). A global perspective on sustainable intensification research. *Nature Sustainability*, *3*(4), 262-268. https://doi.org/10.1038/s41893-020-0507-8
14. Carvalho, F. P. (2006). Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science & Policy*, *9*(7-8): 685-692. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.08.002
15. Clay, N., Garnett, T., & Lorimer, J. (2020). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio 49*(1): 35-48. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y
16. Commission, E. (2012). *Agri-Environmental Indicator- Intensification- Extensification*. Belgium, EU Rural Rwview. 2014.
17. Cobb, J. N., DeClerck, G., Greenberg, A., Clark, R., & McCouch, S. (2013). Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype–phenotype relationships and its relevance to crop improvement. *Theoretical and Applied Genetics*, *126*(4), 867-887. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2066-0
18. Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 637108. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108
19. Cormier, F., Foulkes, J., Hirel, B., Gouache, D., Moënne‐Loccoz, Y., & Le Gouis, J. (2016). Breeding for increased nitrogen‐use efficiency: a review for wheat (*T. aestivum* L.). *Plant Breeding*, *135*(3), 255-278. https://doi.org/10.1111/pbr.12371
20. Dimkpa, C. O., Fugice, J., Singh, U., & Lewis, T. D. (2020). Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency–Trends and perspectives. *Science of the Total Environment*, *731*(13), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139113
21. Dihim Fard, R., & Nazari, S. (2015). Effect of nitrogen application on quantitative and qualitative of sugar beet cultivars. *Journal of Plant Production Research*, *22*(2), 71-93. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.2.4.3
22. FAO. (2018). FAOSTAT. Retrieved from: http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor
23. FAO. (1978). *Report on the Agroecological Zones Project. Vol. 1. Methodology and results for Africa*. World Soil Resources Report 48/1. FAO, Rome, 158cpp. http://faostat.fao.org
24. FAO. (1981). *Report on the Agroecological Zones Project. Vol. 3. Methodology and results for South and Central America*. World Soil Resources Report 48/3. FAO, Rome, 251 pp. http://faostat.fao.org
25. Funk, C. C., & Brown, M. E. (2009). Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. *Food Security*, *1*(3), 271-289. https://doi.org/10.1007/s12571-009-0026-y
26. Foulkes, M. J., Hawkesford, M. J., Barraclough, P. B., Holdsworth, M. J., Kerr, S., Kightley, S., & Shewry, P. R. (2009). Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. *Field Crops Research*, *114*(3), 329-342. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.005
27. Gobbett, D. L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J. N., Grassini, P., & Cassman, K. G. (2017). Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science*, *155*, 282-299. https://doi.org/10.1017/S0021859616000381
28. Hazell, P. B. (2010). An assessment of the impact of agricultural research in South Asia since the green revolution. *Handbook of Agricultural Economics*, *4*, 3469-3530. https://doi.org/10.1016/S1574-0072(09)04068-7
29. Hunt, R. C. (2000). Labor productivity and agricultural development: Boserup Revisited. *Human Ecology*, *28*, 251-277. https://doi.org/10.1023/A:1007072120891
30. Hutchings, N. J., Sorensen, P., Cordovil, C. M., Leip, A., & Amon, B. (2020). Measures to increase the nitrogen use efficiency of European agricultural production. *Global Food Security*, *26*, 100381. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100381
31. Knapp, S., & der Heijden, V. M. G. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation

agriculture. *Nature Communications*, *9*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1
32. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*, 105078. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078
33. Langholtz, M., Davison, B. H., Jager, H. I., Eaton, L., Baskaran, L. M., Davis, M., & Brandt, C. C. (2021). Increased nitrogen use efficiency in crop production can provide economic and environmental benefits. *Science of the Total Environment*, *758*, 143602. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143602
34. Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, *34*, 179-204. https://doi.org/10.1146/annurev.environ.041008.093740
35. Ministry of Agriculture-Jahad (2001-2020) Agricultural Statistics, (Vol. 2). Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jahad, Press.
36. Moll, R. H., Kamprath, E. J., & Jackson, W. A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, *74*, 562e564. https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400030037x
37. Nassiri mahalati, M., & Koocheki, A. (2018). Yield monitoring for wheat and sugar beet in Khorasan Province: 1- Analysis of Methods for Estimating Potential Yield. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*(4), 723-741. http://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.62557
38. Nassiri mahalati, M., Koocheki, A. (2014). Long term evaluation of yield stability trend for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology*, *6*(3), 607-621. https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.26802
39. Nassiri mahalati, M., & Koocheki, A. (2017). Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran. *Journal of Agroecology*, *9*(2), 360-378. https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.29287
40. Neumann, K., Verberg, P. H., Stehfest, E., & Muller, C. (2010). The yield gap of global grain production: a spatial analysis. *Agricultural Systems*, *103*, 316-326. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.02.004
41. Nielsen, D. C., & Vigil, M. F. (2018). Wheat yield and yield stability of eight dryland crop rotations. *Agronomy Journal*, *110*(2), 594-601. https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0407
42. Nikoei, A., Bagheri, A., Soleimanipor, I., Shirvanian, A., Zare, Sh., Nemati, A., & Ebrahimian, H. (2007). Survey of sugar beet employment rate in Iran. *Journal of Sugar Beet*, *23*(1), 93-108. https://doi.org/10.22092/jsb.2007.1255
43. Palmer, C. (2008). Environmental Ethics and Agricultural Intensification. In: Thompson P.B. (eds) The Ethics of Intensification. *The International Library of Environmental, Agricultural and Food Ethics*, *16*, 131-148. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8722-6_9
44. Pellegrini, P., & Fernández, R. J. (2018). Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(10), 2335-2340. https://doi.org/10.1073/pnas.1717072115
45. Pittelkow, C. M., Zorrilla, G., Terra, J., Riccetto, S., Macedo, I., Bonilla, C., & Roel, A. (2016). Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. *Global Food Security*, *9*, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.05.003
46. Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, *6*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/ncomms6989
47. Sanghera, G. S., Singh, R. P., Kashyap, L., Tyagi, V., & Sharma, B. (2016). Evaluation of sugarbeet genotypes (*Beta Vulgaris* L.) for root yield and quality traits under subtropical conditions. *Journal of Krishi Vigyan*, *5*(1), 67-73. http://doi.org/10.5958/2349-4433.2016.00037.4
48. Senapati, N., & Semenov, M. A. (2020). Large genetic yield potential and genetic yield gap estimated for wheat in Europe. *Global Food Security*, *24*, 100340. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100340
49. Sharma, L. K., & Bali, S. K. (2017). A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability*, *10*(1), 1-23. https://doi.org/10.3390/su10010051
50. Thomson, A. M., Ellis, E. C., Grau, H. R., Kuemmerle, T., Meyfroidt, P., Ramankutty, N., & Zeleke, G. (2019). Sustainable intensification in land systems: trade-offs, scales, and contexts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *38*, 37-43. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.011
51. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World Population Prospects 2019 - Special Aggregates, Online Edition. Rev. 1. https://population.un.org/wpp2019/Download/SpecialAggregates/EconomicTrading/
52. Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D., & Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(1), 15-32. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5
53. Van Bueren, E. T. L., & Struik, P. C. (2017). Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*(5), 1-24. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0457-3

54. Versteeg, M. N., & Van Keulen, H. (1986). Potential crop production prediction by some simple calculation methods, as compared with computer simulations. *Agricultural Systems*, *19*(4), 249-272. https://doi.org/10.1016/0308-521X(86)90109-5
55. Wallace, A. J., Armstrong, R. D., Grace, P. R., Scheer, C., & Partington, D. L. (2020). Nitrogen use efficiency of 15 N urea applied to wheat based on fertiliser timing and use of inhibitors. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *116*(1), 41-56. https://doi.org/10.1007/s10705-019-10028-x
56. Wu, P., Liu, F., Li, H., Cai, T., Zhang, P., & Jia, Z. (2021). Suitable fertilizer application depth can increase nitrogen use efficiency and maize yield by reducing gaseous nitrogen losses. *Science of The Total Environment*, *781*, 146787. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146787
57. Wilson, J. S., & Otsuki, T. (2004). To spray or not to spray: pesticides, banana exports, and food safety. *Food Policy*, *29*(2), 131-146. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2004.02.003
58. Yang, H., Mo, P., Chen, Y., Chen, R., Wei, T., Xie, W., Xiang, X., Huang, X., Zheng, T., & Fan, G. (2021). Genetic progress in grain yield radiation and nitrogen use efficiency of dryland winter wheat in Southwest China since 1965: Progress and prospect for improvements. *Crop Science*, *61*(6), 4255-4272. https://doi.org/10.1002/csc2.20608
59. Zhang, Z., Zhang, Y., Shi, Y., & Yu, Z. (2020). Optimized split nitrogen fertilizer increase photosynthesis, grain yield, nitrogen use efficiency and water use efficiency under water-saving irrigation. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-14. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75388-9